

# Evolução da Computação de Alto Desempenho sob a Ótica da Lista TOP500

Siang Wun Song  
<song@ime.usp.br>

IME-USP

Medida de desempenho:

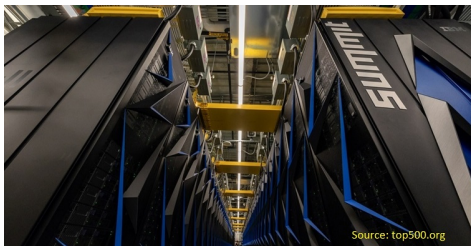
1 FLOPS = uma operação ponto flutuante por segundo

- Mega FLOPS =  $2^{20} \cong 10^6$  op. aritméticas por segundo
- Giga FLOPS =  $2^{30} \cong 10^9$
- Tera FLOPS =  $2^{40} \cong 10^{12}$
- Peta FLOPS =  $2^{50} \cong 10^{15}$
- Exa FLOPS =  $2^{60} \cong 10^{18}$
- Zetta FLOPS =  $2^{70} \cong 10^{21}$
- Yotta FLOPS =  $2^{80} \cong 10^{24}$

Lista dos 500 computadores mais poderosos do mundo

- Divulgada duas vezes por ano: em junho e novembro
- Interesse tanto para fabricantes como para compradores potenciais
- Benchmark: LINPACK - solução de um sistema linear de  $n$  equações a  $n$  incógnitas.
- Os 500 computadores com melhor desempenho LINPACK entram na lista TOP500.
- Muito material é disponível no site:  
<http://www.top500.org/>

# O número 1 da lista TOP500 - em novembro 2019



- Summit (E.U.A.)
- 4.356 nós, cada um com 2 CPUs Power9 de 22 *cores*, 6 GPUs NVIDIA Tesla V100
- Total de 3.120.000 *cores* ou núcleos
- LINPACK 122,3 PFLOPS
- Velocidade de pico 187,6 PFLOPS

# Alguns campeões anteriores



Source: Jack Dongarra, Report on the Sunway TaihuLight System, June 2016

Sunway (China) SW26010 chip (TOP 1 - Junho 2016 a junho 2018 )



Tianhe (China) Xeon Phi (TOP 1 - Junho 2013 a novembro 2015)

# Alguns campeões anteriores



K Computer (Japão Fujitsu) SPARC64 (TOP 1 - Novembro 2011)



Jaguar Cray XT5 Opteron (TOP 1 - Junho 2010)



Roadrunner IBM PowerXCell (TOP 1 - Junho 2009)

# Qual será o primeiro colocado ... em novembro deste ano?

Em novembro deste ano sai uma nova lista  
TOP500

e um novo TOP 1 pode surgir.

# Uma máquina da USP esteve na TOP500

- Pergunta: quantas máquinas brasileiras na lista TOP500 em junho do ano passado ainda estão na presente lista?

Os curiosos podem consultar o site top500.

*Na lista TOP500 de novmebro/2006 a USP estava na posição 363, com 3,182 TFLOPS Linpack :-)*

*A alegria só durou 6 meses pois saiu da lista em junho/2007 - :-)*



# Uma máquina da USP esteve na TOP500

- Pergunta: quantas máquinas brasileiras na lista TOP500 em junho do ano passado ainda estão na presente lista?

Os curiosos podem consultar o site top500.

*Na lista TOP500 de novmebro/2006 a USP estava na posição 363, com 3,182 TFLOPS Linpack :-)*

*A alegria só durou 6 meses pois saiu da lista em junho/2007 - :-)*

# Uma máquina da USP esteve na TOP500

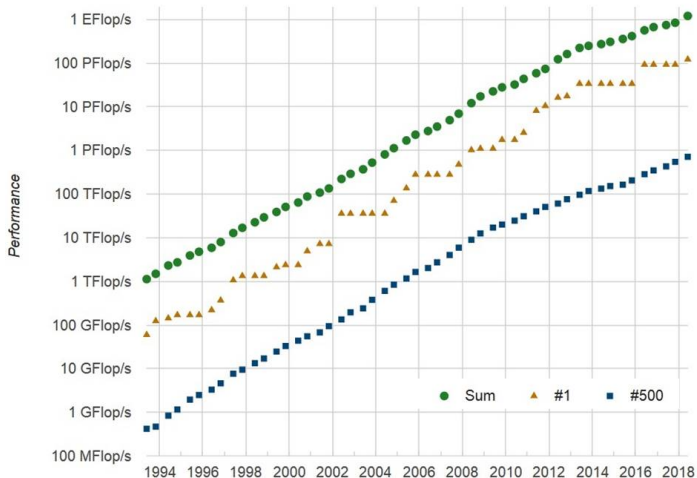
- Pergunta: quantas máquinas brasileiras na lista TOP500 em junho do ano passado ainda estão na presente lista?

Os curiosos podem consultar o site top500.

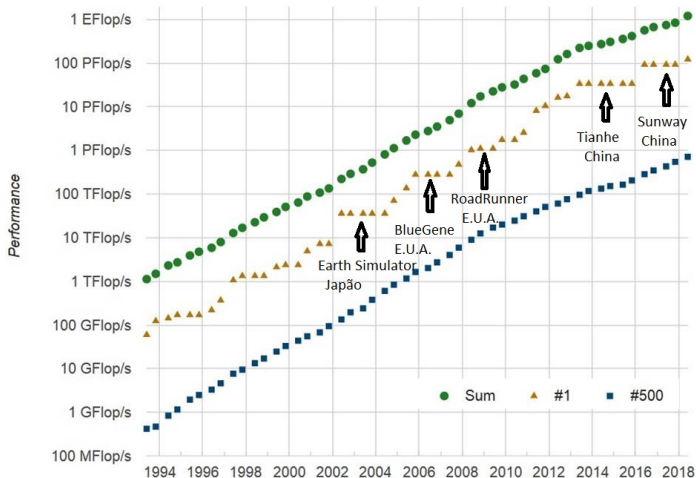
*Na lista TOP500 de novembro/2006 a USP estava na posição 363, com 3,182 TFLOPS Linpack :-)*

*A alegria só durou 6 meses pois saiu da lista em junho/2007 - :-(*

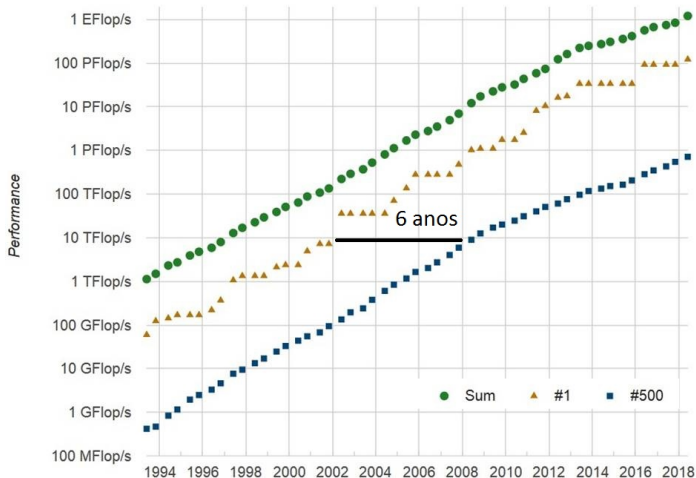
# Desempenho ao longo do tempo



# Desempenho ao longo do tempo - Alguns Campeões

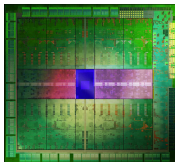


# O primeiro se torna o último em 6 anos



# Meu computador já foi TOP 1

- O desktop que eu tinha na minha sala da UFABC quando era professor visitante lá já foi TOP1 :-)  
Duas placas NVIDIA Geforce GTX-680: 3.072 processadores, veloc. pico de 4,5 TFLOPS.



Fonte: NVIDIA

- O número 1 da TOP500 no período 1997 a 2000 é o Intel ASCI Red com veloc. de pico de 1,3 TFLOPS.
- Esse meu computador seria o número 1 da TOP500 até novembro 2000 :-)

Para pensar:

- O que vem depois de PFLOPS?

Resposta: ExaFLOPS

$$1 \text{ ExaFLOPS} = 2^{60} \cong 10^{18}$$

- Em que ano teremos computadores de desempenho de ExaFLOPS?

O exercício pode ser feito com a próxima figura.

Para pensar:

- O que vem depois de PFLOPS?

Resposta: **ExaFLOPS**

$$1 \text{ ExaFLOPS} = 2^{60} \cong 10^{18}$$

- Em que ano teremos computadores de desempenho de ExaFLOPS?

O exercício pode ser feito com a próxima figura.



Para pensar:

- O que vem depois de PFLOPS?

Resposta: **ExaFLOPS**

$$1 \text{ ExaFLOPS} = 2^{60} \cong 10^{18}$$

- Em que ano teremos computadores de desempenho de ExaFLOPS?

O exercício pode ser feito com a próxima figura.

Para pensar:

- O que vem depois de PFLOPS?

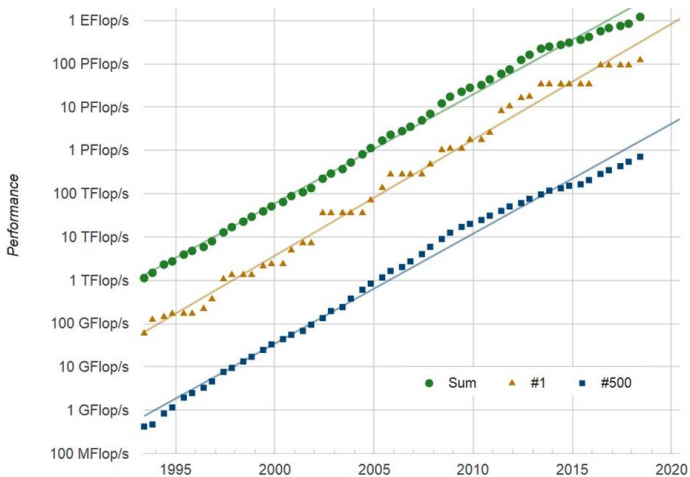
Resposta: **ExaFLOPS**

$$1 \text{ ExaFLOPS} = 2^{60} \cong 10^{18}$$

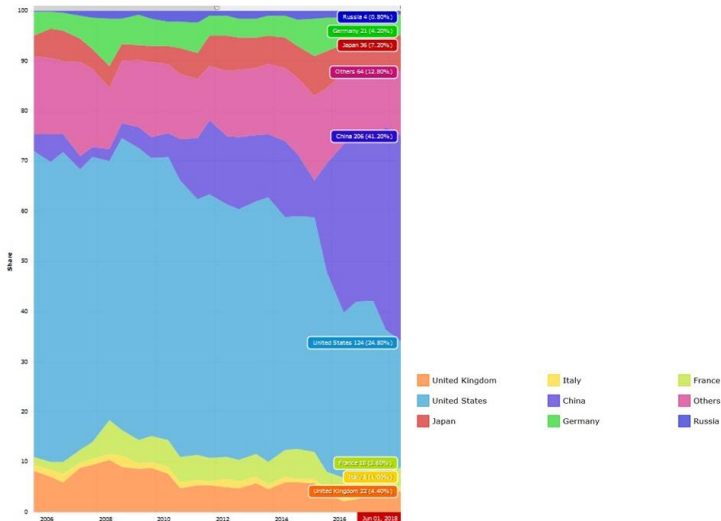
- Em que ano teremos computadores de desempenho de ExaFLOPS?

O exercício pode ser feito com a próxima figura.

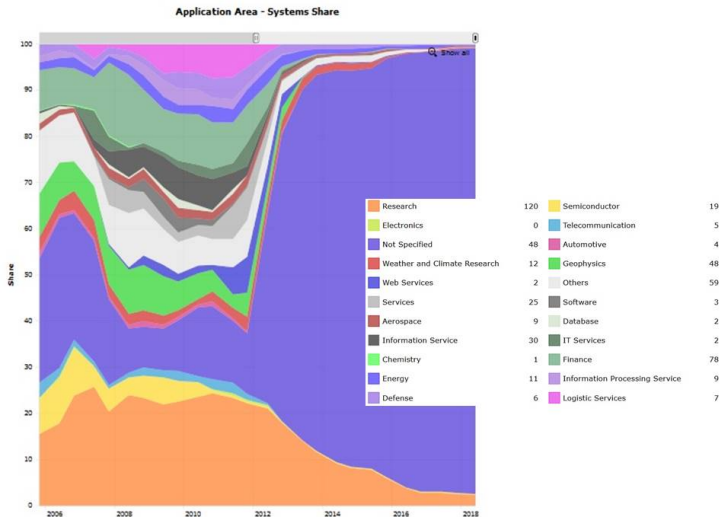
# Projeção do Desempenho



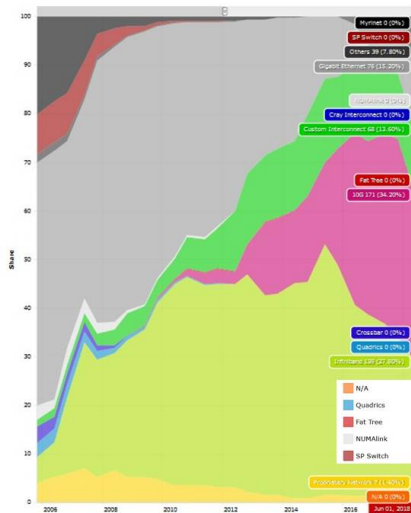
# Países Compradores



# Aplicações



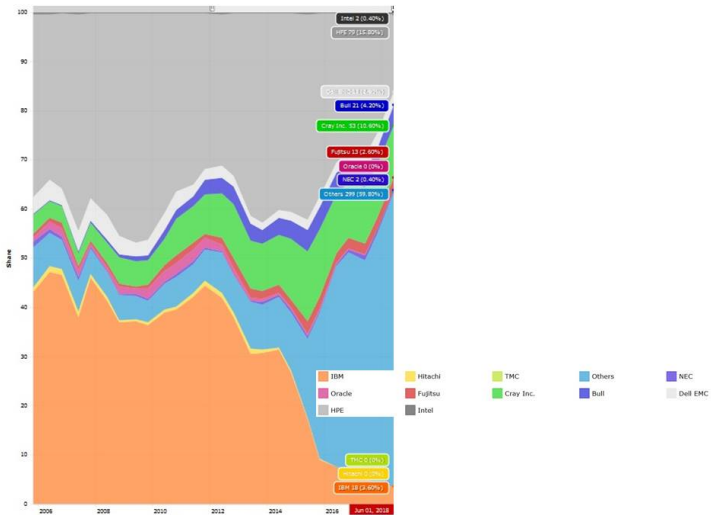
# Interconexão



0	Proprietary Network	8	Infiniband	205
0	Crossbar	0	10G	75
1	Custom Interconnect	68	Cray Interconnect	0
0	Gigabit Ethernet	140	Others	0
0	Myrinet	3		

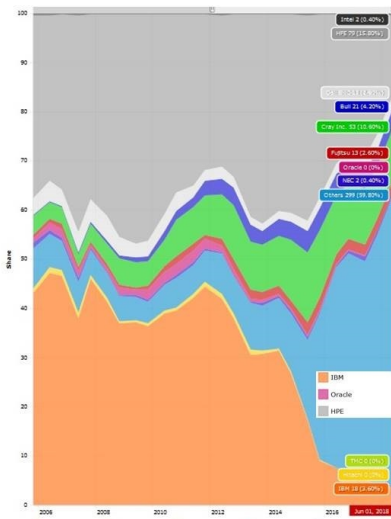
- Área de alta competição.
- Difícil prever qual melhor rumo a seguir.
- Algumas empresas permanecem; outras não.
- Notem uma grande variação ao longo do tempo.

# Fabricantes





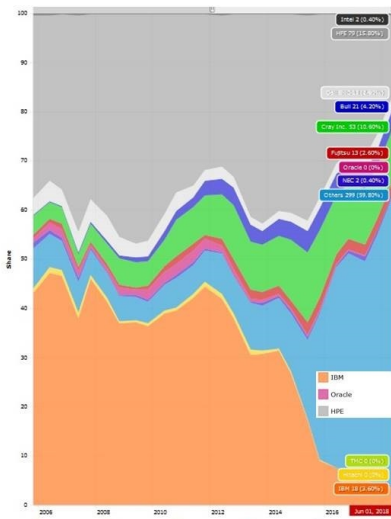
# Fabricantes



← Others? Ficou curioso?

Ver: lista TOP500 e o link  
<https://www.nytimes.com/2018/06/25/technology/china-supercomputers.html>

# Fabricantes

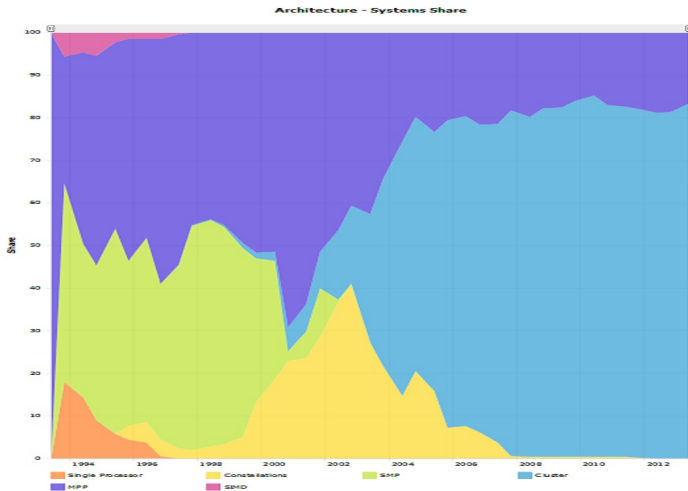


Others? Ficou curioso?

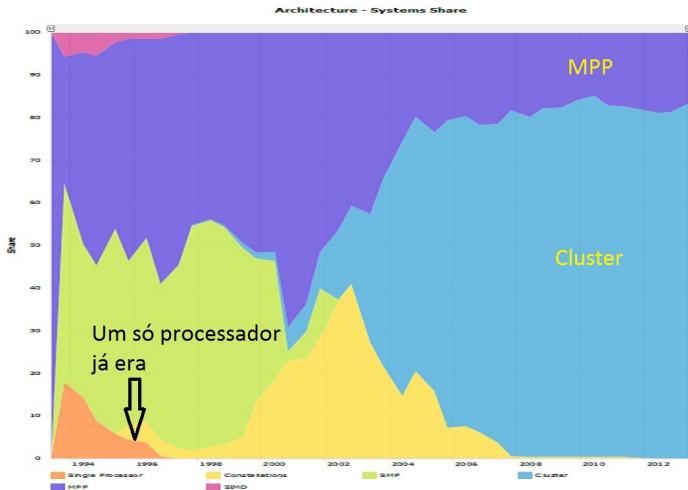
Ver: lista TOP500 e o link  
<https://www.nytimes.com/2018/06/25/technology/china-supercomputers.html>

Lenovo, Sugon, Inspur ...

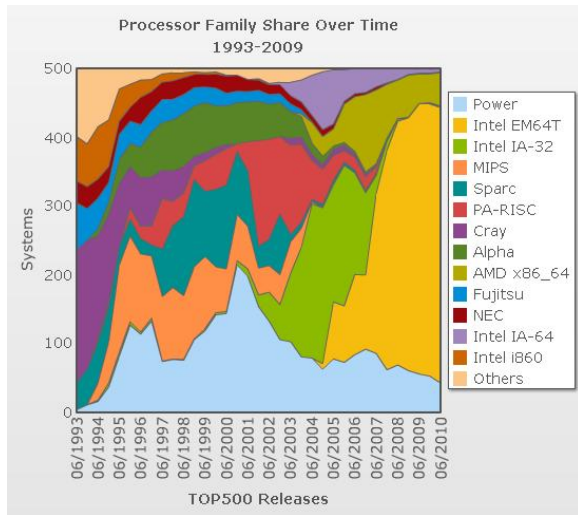
- Um só processador.
- SMP - Symmetric Multi Processor.
- MPP - Massively Parallel Processor.
- Cluster - Um agregado ou uma rede de *workstations*.
- Constellation - “cluster of clusters”.



# Arquitetura



# Família de Processadores



# Sistema Operacional



O avanço do hardware em termos de:

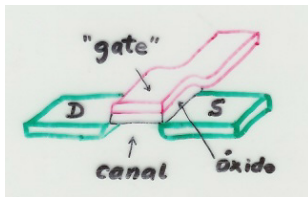
- Capacidade de processamento e armazenamento.
- Tamanho.
- Preço.

Esse avanço está relacionado ao avanço da tecnologia de microeletrônica ou VLSI (Very Large Scale of Integration).



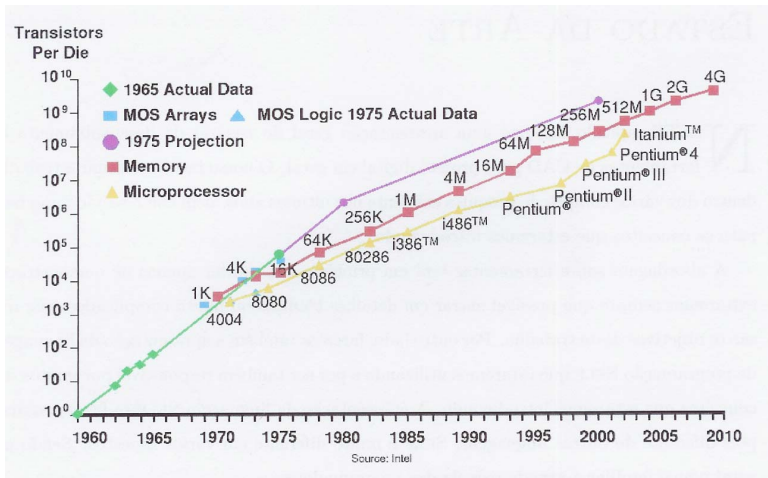
# Avanço da Microeletrônica - pastilhas de silício

- Processador e memória são feitos de um mesmo material: pastilha de silício.
- O elemento básico dos circuitos digitais é o transistor MOS (Metal Oxide Semiconductor).
- Um transistor MOS é uma espécie de chave interruptora minúscula, de ordem de alguns micrômetros quadrados de área.
- Presença de carga elétrica (voltagem alta) no gate permite a condução de eletricidade entre os pontos D e S, ao passo que a ausência de carga (voltagem baixa) no gate impede a condução.



# Lei de Moore

"O número de transistores em uma pastilha dobra a cada 18 meses".



# Tamanho de um Transistor MOS

Tamanho (largura) de um transistor:

1963    24  $\mu\text{m}$

1978    5  $\mu\text{m}$

1990    1  $\mu\text{m}$

2005    0,1  $\mu\text{m}$

2017    0,01  $\mu\text{m}$

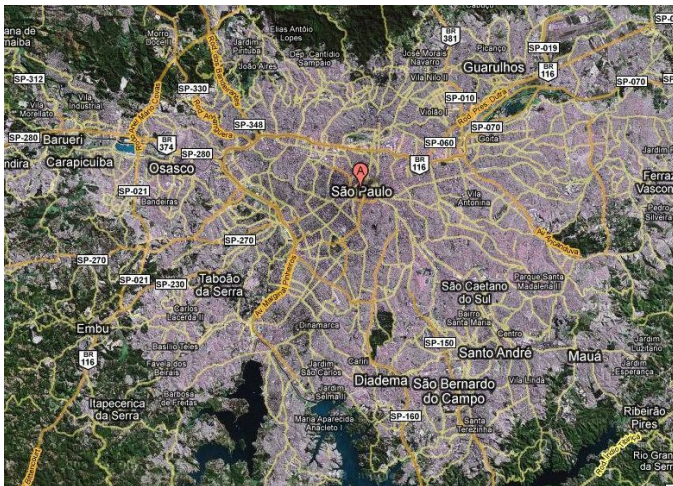
Ilustramos a seguir essa evolução, imaginando que um chip contém, ao invés de circuitos, ruas e praças de uma região geográfica.

1963 - tamanho  $24 \mu\text{m}$



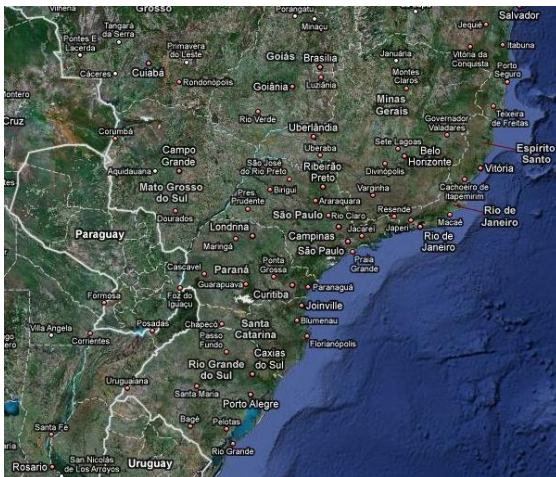
Source: Google Maps

1978 - tamanho  $5 \mu\text{m}$



Source: Google Maps

# 1990 - tamanho 1 $\mu\text{m}$



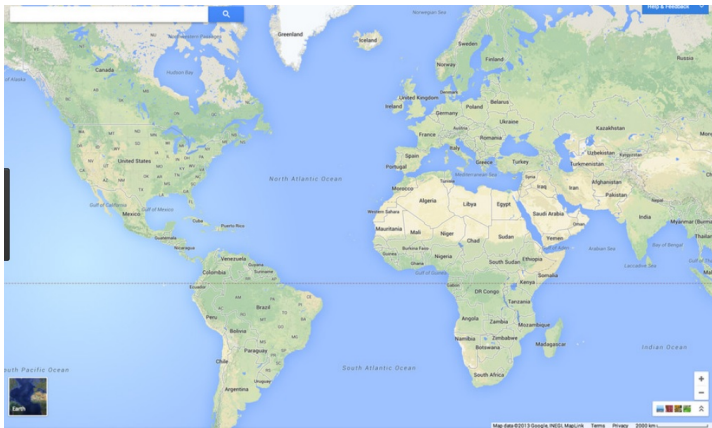
Source: Google Maps

2005 - tamanho 0,1  $\mu\text{m}$



Source: Google Maps

2017 - tamanho 0,01  $\mu\text{m}$



Source: Google Maps



# Pastilhas VLSI com bilhões de transistores

- Intel Tukwila quad-core chip(2008): mais de 2 bilhões de transistores -  
Tecnologia de 65 nm ou 0,065 micrômetro.  
<http://news.bbc.co.uk/2/hi/technology/7223145.stm>
- Processador Intel Core i7 usa CMOS de 45 nm ou 0,045 micrômetro.  
<http://www.intel.com/products/processor/corei7/specifications.htm>  
<http://www.intel.com/technology/45nm/index.htm>
- Em 2016: Intel 22-core Xeon Broadwell-EP com 7,2 bilhões de transistores.

O avanço continua. Em junho de 2017, IBM anunciou que foi criada uma pastilha de silício de 5 nm.

[IBM unveils world' first 5nm chip](#)

# Reflexões sobre a evolução da computação

- O fantástico avanço da área, tanto em velocidade de processamento, como em capacidade de armazenamento, tem a ver com a tecnologia VLSI (Microeletrônica) – Lei de Moore.
- A computação paralela veio para ficar. Por que?
  - Um modo de aumentar a velocidade de um processador é aumentar a sua frequência do relógio, diminuindo o ciclo. Devido a problemas como dissipação de calor, a frequência não está aumentando de forma significativa ao longo do tempo.
  - Daí a popularidade cada vez maior da computação paralela: colocando-se mais *cores* numa pastilha (Lei de Moore).

# Como foi o meu **aprendizado**?

Responda se a afirmação é verdadeira ou falsa:

- 1 Pela lista TOP500, vivemos hoje na era de PetaFLOPS.
- 2 Todos os computadores da lista TOP500 hoje possuem mais do que um processador.
- 3 A Lei de Moore continua valendo, pelo menos até o momento.
- 4 O Brasil ainda não conseguiu colocar nenhum computador na lista TOP500.
- 5 Pela Lei de Moore, a frequência do relátió aumenta em cada 18 meses.